

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NÁPRAVY OSOBNÍCH A ZÁVODNÍCH AUTOMOBILŮ

SUSPENSIONS OF PASSENGER AND RACE CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN ŠEVČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR PORTEŠ, Dr.

BRNO 2010

## **Abstrakt**

Jan Ševčík

Nápravy osobních a závodních automobilů

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání různých typů náprav s důrazem na změnu geometrie během propružení. Ve studentské verzi Autodesk Inventor Professional byly vytvořeny modely náprav a virtuálního testovacího polygonu. Výstupem z programu jsou série obrázků zobrazujících nápravy během propružení. Změny geometrie jsou okótovány, popsány a rozebrány. V závěru práce jsou porovnány nároky na civilní a závodní zavěšení.

**Klíčová slova:** dynamika vozidel, geometrie řízení, náprava, zavěšení

## **Abstract**

Jan Ševčík

Suspensions of passenger and race cars

Bachelor thesis focuses on comparing different types of axles between them with emphasis on changing the geometry during propružení. In student version of Autodesk Inventor Professional was created virtual models of axles and virtual test polygon. The output of the program are a series of images showing the axle during springing. Changes in geometry are quoted, described and analyzed. In conclusion there are compared to civil rights and race suspension.

**Keywords:** vehicle dynamics, steering geometry, axle, suspension

**Bibliografická citace:**

ŠEVČÍK, J. *Nápravy osobních a závodních automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Porteš, Dr.

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Porteše, Dr. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 24. května 2010

.....

**Poděkování:**

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Petru Portešovi, Dr. za cenné rady a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce.

# Obsah

<b>Obsah.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Vymezení pojmů.....</b>	<b>7</b>
2.1 Základní pojmy .....	7
2.2 Prvky zavěšení .....	8
2.3 Směrová dynamika vozidel ČSN 30 0034 .....	14
<b>3 Vliv změny geometrie zavěšení na jízdní vlastnosti.....</b>	<b>20</b>
3.1 Úhel odklonu kola .....	20
3.2 Příklon rejdové osy .....	21
3.3 Poloměr rejdu .....	21
3.4 Závlek .....	22
3.5 Úhel sbíhavosti.....	23
<b>4 Zavěšení kol .....</b>	<b>24</b>
4.1 Závislé zavěšení (tuhá náprava).....	25
4.2 Nezávislé zavěšení.....	27
<b>5 Požadavky na zavěšení civilních a závodních vozů.....</b>	<b>41</b>
<b>6 Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>7 Použité informační zdroje.....</b>	<b>44</b>

# 1 Úvod

Automobil je v dnešní době nejužívanějším dopravním prostředkem. Denně se využívá k přepravě nejenom lidí, ale i nákladů. Z toho tedy vyplývá, že je kladem velký důraz na spolehlivost a bezpečnost vozidla. Na té se nedílnou součástí podílí podvozek automobilu, který významně přispívá k aktivní bezpečnosti. Aktivní bezpečnost je v současnosti mírně v pozadí v porovnání s bezpečností pasivní, přičemž je jejich důležitost přinejmenším srovnatelná. Počet hvězdiček získaných v crash testech je vždy uváděn na titulní straně, zatímco ovladatelnost, chování vozidla, délka brzdné dráhy bývají v pozadí.

Toto tvrzení rozhodně neplatí u závodních automobilů, které na jízdní vlastnosti kladou primární důraz a posouvají tak vývoj kupředu. Technologie používané v motorsportu nejsou vždy použitelné pro civilní vozidla, hlavně z důvodu velkých finančních nároků, složitosti a možné nespolehlivosti při dlouhodobém užívání. Přesto tyto získané poznatky posouvají dál i civilní vozy.

Cílem mé práce je přehledně zobrazit děje, jenž se odehrávají v nápravách během propnutí a umožnit snadné a rychlé získání přehledu o změnách geometrie během propnutí u různých typů náprav.

## 2 Vymezení pojmů

### 2.1 Základní pojmy

#### **Automobil**

Motorové vozidlo (viz ČSN 30 0024 čl. 2), které má 4 nebo více kol, obvykle používané pro:

- Dopravu osob nebo nákladů
- Tažení přípojných vozidel používaných pro dopravu osob nebo náklad
- Speciální účely a služby

#### **Osobní automobil**

Automobil, který je konstrukčně určen zejména pro dopravu osob a jejich zavazadel nebo nákladu, který má nejvýše 9 míst k sezení včetně místa řidiče. Může rovněž táhnout přívěs. (ČSN 30 0024)

#### **Podvozek**

Rám vozidla s podvěsy, řízením, brzdným zařízením a příslušenstvím. (ČSN 30 0025)

#### **Náprava**

Orgán, jehož prostřednictvím jsou dvě protější kola (pravé a levé) dvoustopého nebo vícestopého vozidla zavěšena na nosné konstrukci vozidla nebo na nosných částech podvěsu. (ČSN 30 0025)

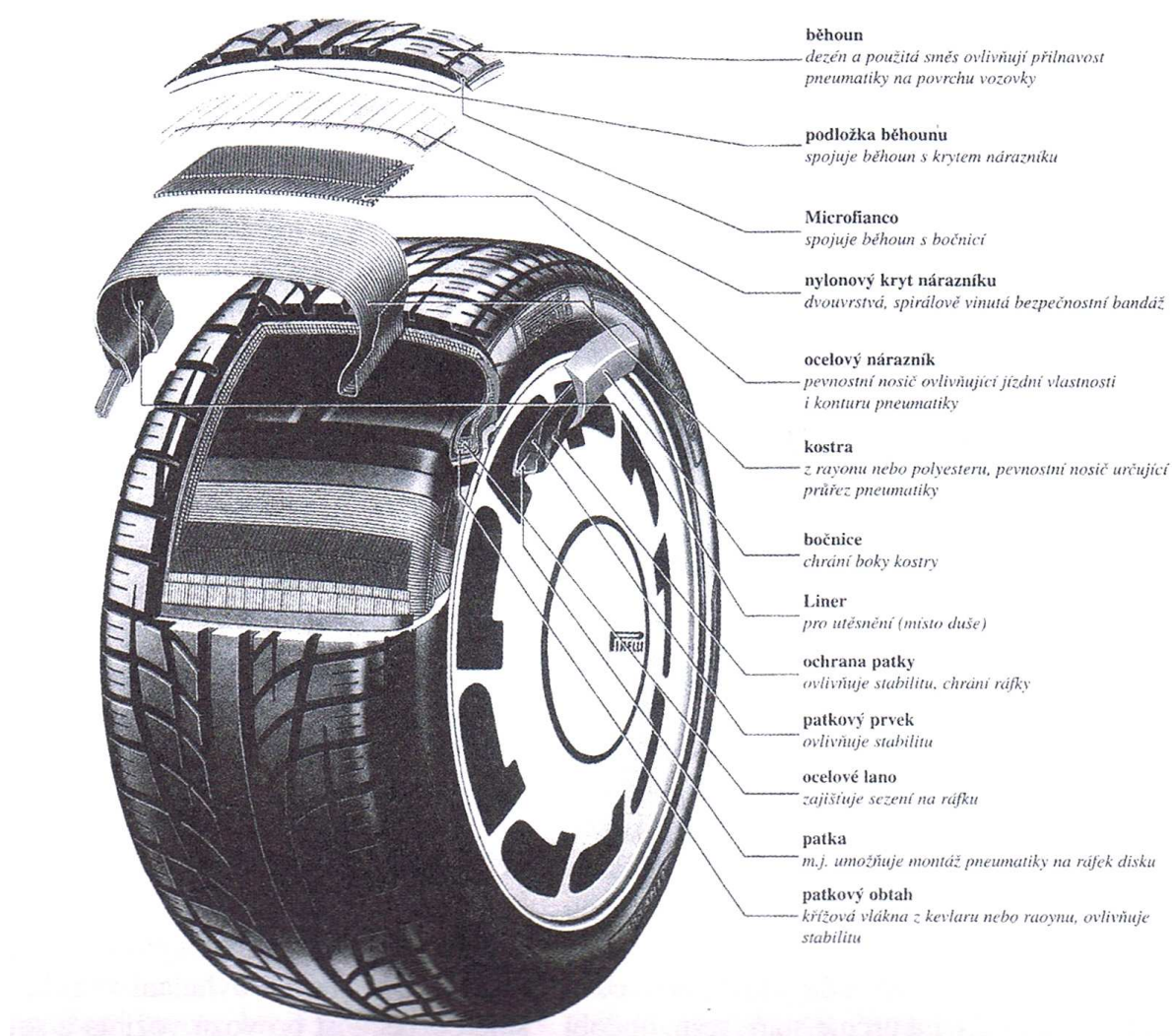
#### **Zavěšení kol**

Pod pojmem „zavěšení kol“ rozumíme způsob připojení kol k rámu nebo karoserii vozidla. Hlavní funkcí zavěšení je umožnit kolu relativní pohyb vůči karoserii nebo rámu. (Autolexicon.net)

## 2.2 Prvky zavěšení

### 2.2.1 Pneumatika

Pneumatika je součást automobilu, která se výrazně podílí na bezpečnosti jízdy, kvalitě jízdních vlastností a dobré ovladatelnosti vozidla. Jako pneumatika je označován celek skládající se z pláště, duše, ochranné vložky a ventilku (dnes častěji používané bezdušové pneumatiky nemají duši). Nejdůležitější součástí pneumatiky je tudíž plášť, jež je konstrukčně nejsložitější (obr. č.1). (Motejl, 2004)



Obr. č. 1

Konstrukce pneumatiky

Zdroj: Motejl, 2004



Na pneumatiky jsou kladené vysoké nároky, protože musí splňovat řadu funkcí:

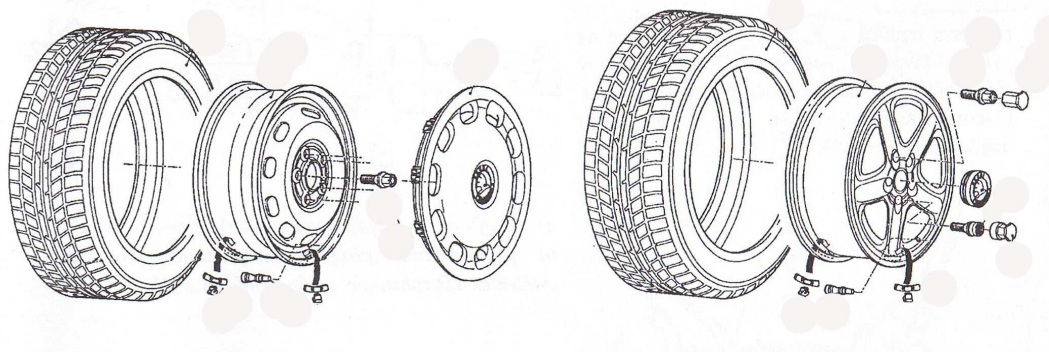
- Nést hmotnost vozidla
- Přenášet síly mezi vozidlem a vozovkou
- Přenášet spolehlivě točivý moment
- Minimalizovat valivý odpor, hlučnost a vibrace

### 2.2.2 Disk

Disk kola se skládá s ráfku osazeného pneumatikou a z hvězdice propojující tuto část s hlavou. Ta slouží k upevnění k náboji. Funkcí disku je spojit pneumatiky se zbytkem soustavy zavěšení. Při jeho konstrukci je kladen důraz na maximální pevnost při co nejnížší hmotnosti. Vyrábí se v různých rozměrech a provedeních dle požadavků daného typu vozidla. (Jan, 2009)

Rozlišujeme tyto typy:

- Disky lisované z ocelových plechů (obr. č. 2 vlevo)
- Disky odlévané z lehkých slitin na bázi hliníku (obr. č. 2 vpravo)



Obr. č. 2 Vlevo disk z ocelových plechů, vpravo litý disk

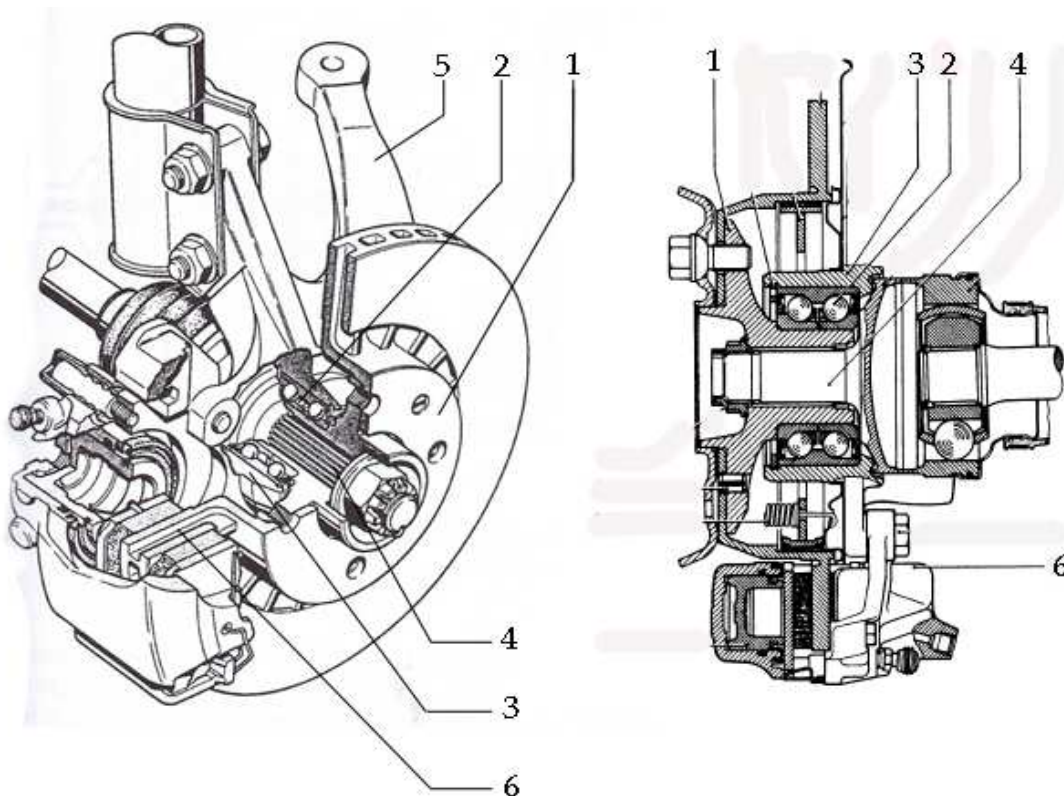
Zdroj: Vlk, 2000

### 2.2.3 Uložení

Uložení spojuje disk kola s pohybovými mechanismy nápravy. Umožňuje odvalování kola po vozovce a v případě řízené nápravy její natáčení. Uložení nesmí mít vůle, aby bylo zajištěno přesné vedení kola. Často je doplněno brzdovým mechanismem.

Prvky uložení (obr. č.3):

- Náboj slouží k upevnění disku kola a je uložen na ložiscích (1).
- Ložiska snižují valivé tření a zachycují radiální a axiální síly (2).
- Uložení ložiska slouží ke spojení náboje a pohybových mechanismů (3).
- Otočný čep či hnací hřídel (4)
- Těhlice se používá v případě řízené nápravy, umožňuje natáčení kola (5).
- Mechanismus brzd bývá upevněn na náboji nebo s ním tvoří jeden celek (např. bubnová brzda) (6).



Obr. č. 3 Uložení kola

Zdroj: Vlček, 2000; Jörnsten, 2001

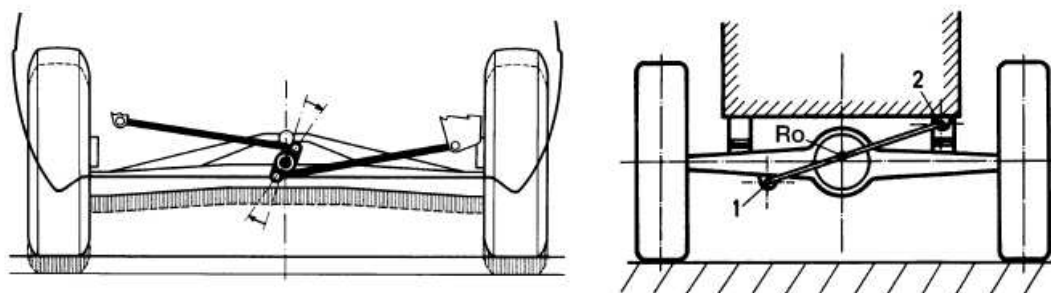
#### 2.2.4 Pohybové prvky a mechanismy

Jsou prvky spojující uložení kol a úchyty v karoserii. Umožňují relativní pohyb kola vůči karoserii. Jejich tvar ovlivňuje geometrii zavěšení.

Nejčastěji užívané prvky :

- Ramena
- Pandhardská tyč (obr. č. 4)

- Wattův přímovod (obr. č.4)
- Listová pera



Obr. č. 4 Vlevo Wattův přímovod, vpravo Pandhardská tyč

Zdroj: Jörnson, 2001

Požadavky na prvky:

- Vysoká pevnost
- Nízká hmotnost
- Vysoká lomová houževnatost

### 2.2.5 Úchyty v karoserii, rámu, nápravnicí

Úchyty slouží k připevnění pohybových částí zavěšení k rámu. Jejich účelem je odebrat požadovaný počet stupňů volnosti a zamezit tak pohybu v nežádoucích směrech. Zároveň je však nutné umožnit přesně vedený pohyb v požadovaném směru.

Nejčastěji užívané prvky :

- Kulový čep odebírá tři stupně volnosti a umožňuje natáčení ve třech směrech
- Oko odebírá pět stupňů volnosti a dovoluje natočení v jednom směru
- Miska s kluzným ložiskem (typické uložení nápravy McPherson) umožňuje rotaci teleskopu a pružiny při zatáčení.
- Teleskopická vzpěra, má jeden stupeň volnosti a umožňuje translační pohyb a často zároveň plní funkci tlumiče.
- Pryžová pouzdra nabízí v omezeném rozsahu více stupňů volnosti.

### 2.2.6 Odpružení

Odpružení je soubor prvků vytvářející pružné spojení mezi nápravou a rámem karoserie vozidla. (Motejl, 2004)

Jeho hlavními funkcemi je:

- Zmenšení kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho podvozkové části a karoserii
- Zabezpečení stálého styku pneumatiky s vozovkou i při přejíždění nerovností. Tím je zajištěn přenos obvodových sil (hnacích a brzdných) a bočních sil potřebných k zatáčení.
- Zajištění dostatečného pohodlí jízdy
- Zmenšení rázu vznikajících při jízdě po nerovnostech (zvyšuje životnost některých dílů nápravy)

Odpružení je řešeno různými konstrukcemi (rozdělení dle ČSN 30 0025):

- Listové (s listovými pery)
- Pružinové (s vinutými pružinami)
- Zkrutné (se zkrutnými tyčemi)
- Pryžové (s pryžovými pružinami)
- Pneumatické (s pneumatickými pružinami)
- Smíšené (s různými pružícími prvky)

### 2.2.7 Tlumení

Tlumení má plnit tyto úlohy:

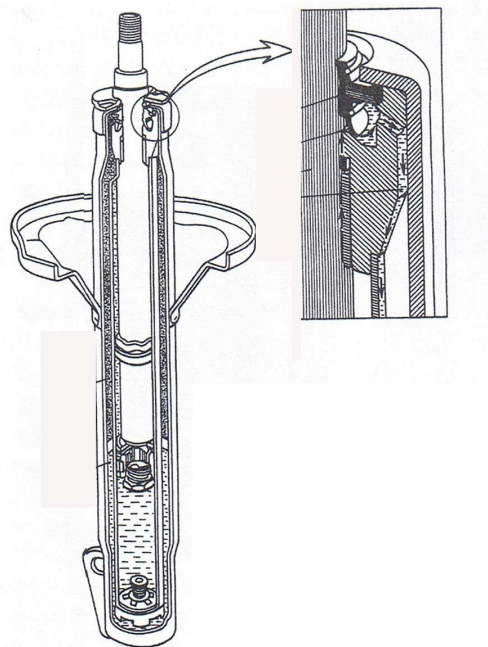
- Zajištění vysoké bezpečnosti jízdy
- Zvýšení jízdního pohodlí

V dnešní době je nejpoužívanější systém tlumení teleskopický kapalinový dvojčinný tlumič (obr. č 5). V jiných případech se používá systém tlumení vzduchový, magnetický a třecí (mezi listovými pery). (Jan, 2009)

Funkce tlumiče:

- Zabránit nadměrnému vertikálnímu rozkmitání karosérie

- Tlumit nárazy vzniklé při přejezdu nerovnosti vozovky a nepřenášet je na karoserii
- Udržovat kmitání nápravy v co nejmenší možné míře



Obr. č. 5 Teleskopický dvojčinný tlumič

Zdroj: JörnSEN 2001

### 2.2.8 Stabilizace

Stabilizátory slouží ke stabilizaci vozu v příčném směru (Vlk, 2000). Zmenšují naklápění karoserie vzniklé v důsledku působení odstředivých sil při průjezdu zatáčkou. Příčné torzní (zkrutné) stabilizátory jsou umístěny napříč vozidlem a spojují jinak nezávisle zavěšená kola jedné nápravy. Stabilizátor částečně ovlivňuje nezávislost zavěšení, kdy část síly vzniklé na jedné straně pojme formou deformace v krutu a část přeneseme na opačnou stranu zavěšení.

Velikost stabilizace je závislá na tuhosti stabilizátoru (tab. č. 1):

Tab. č. 1

Měkčí stabilizátor	X	Tužší stabilizátor
Větší část síly spotřebována torzí		Menší část spotřebovaná torzí
Menší část přenesena na opačné rameno		Větší část přenesena na opačné rameno
Větší naklápění		Menší naklápění karoserie
Nedojde k odlehčení kola		Nadměrné odlehčování vnitřního kola

Typy příčných stabilizátorů:

- Stabilizátor tvaru „U“ je zkrutná tyč napříč nápravou, otočně uložená, konce spojeny s rameny přímo nebo pomocí táhel
- U vozu z klikovou nápravou je střední část dimenzována tak, aby sloužila zároveň jako stabilizátor
- Kapalinové stabilizátory jsou k nápravě připevněné pomocí hydraulických válců, přenos síly zajišťuje kapalina. Tuhost je stavěna pomocí škrtícího ventilu. Ten může být napojen na řídicí jednotku vozidla a ovlivňovat tak velikost stabilizace během jízdy. (Jan, 2009)

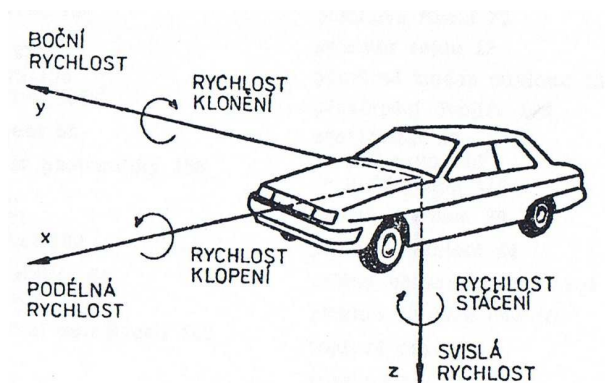
## 2.3 Směrová dynamika vozidel ČSN 30 0034

Tato norma stanovuje názvy a definice základních pojmů používaných v oboru směrové dynamiky motorových vozidel pro silniční dopravu.

### 2.3.1 Geometrie zavěšení kol

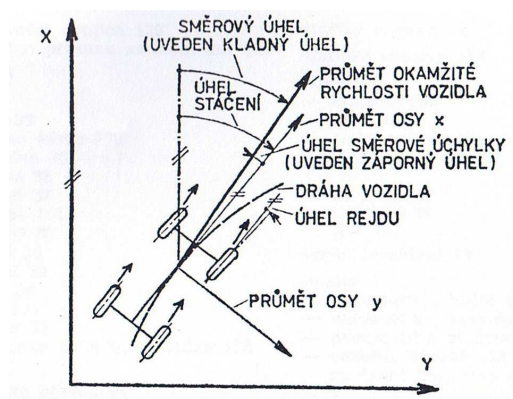
#### Pevná souřadná soustava

Pravoúhlá pravotočivá souřadná soustava vázaná se zemí. Pohyb vozidla je popisován vzhledem k této pevné souřadné soustavě. Osy X a Y leží ve vodorovné rovině a osa Z směřuje dolů (viz. obr. č. 6, 7, 8).



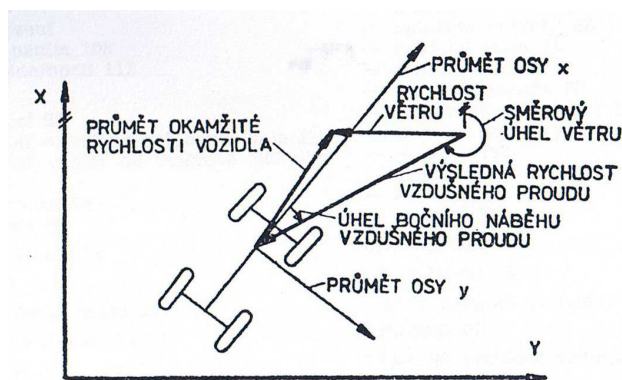
Obr. č. 6

Zdroj: ČSN 30 0034



Obr. č. 7

Zdroj: ČSN 30 0034



Obr. č. 8 Zdroj: ČSN 30 0034

### Souřadná soustava vozidla

Pravoúhlá pravotočivá souřadná soustava vázaná s vozidlem tak, že při ustáněném pohybu vozidla v přímém směru po rovné vozovce je osa x převážně vodorovná, směřuje vpřed a leží v podélné rovině souměrnosti vozidla. Osa y směřuje vpravo od řidiče a osa z směřuje dolů viz obr. č.6

### Klopení

Pootáčení kolem podélné osy vozidla x.

### Klonění

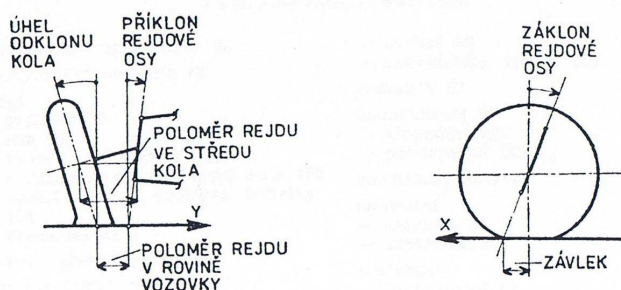
Pootáčení kolem příčné osy vozidla y.

### Stáčení

Pootáčení kolem svislé osy vozidla z.

### Příklon rejdové osy

Průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou vozidla xy (viz obr. č. 9)



Obr. č. 9 Zdroj: ČSN 30 0034

### **Poloměr rejdu**

- a) V rovině vozovky je vzdálenost průsečíku rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky promítnutá do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou yz vozidla (viz obr. č. 9). Leží-li tento průsečík vně střední roviny kola, je poloměr rejdu záporný.
- b) Ve středu roviny kola je vodorovná vzdálenost mezi středem kola a rejdovou osou. Promítnutí do roviny rovnoběžné s příčnou rovinou yz vozidla.

### **Záklon rejdové osy**

Průmět úhlu sevřeného rejdovou osou a svislicí do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla xz (viz obr. č. 9). Je uvažován kladně, je-li skloněna vzad (v tomto případě jde o záklon) a záporně, je-li skloněna vpřed (v tomto případě jde o předklon).

### **Závlek**

Vzdálenost mezi průsečíkem rejdové osy s rovinou vozovky a středem styku pneumatiky promítnutá do roviny rovnoběžné s podélnou rovinou vozidla xz (viz obr. č.9). Závlek je zvažován kladně, je-li průsečík před středem styku pneumatiky a záporně, je-li za ním.

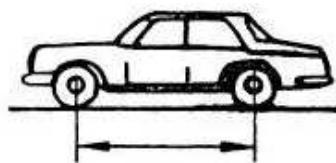
### **Úhel odklonu kola**

Sklon střední roviny kola vůči ose z vozidla (viz obr. č.9). Je uvažován kladně, je-li průsečík před středem styku pneumatiky a záporně, je-li za ním.

### **Rozvor**

Rozvor motorového vozidla je vzdálenost kolmic spuštěných na podélnou střední rovinu vozidla ze stopníku dvou kol, umístěných za sebou na téže straně vozidla (obr. č. 11).

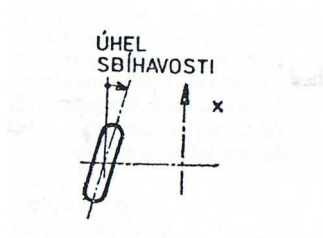




Obr. č. 11 Zdroj: ČSN 30 0026

### Úhel sbíhavosti (statický)

Průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla  $x$  a střední rovinou kola do roviny vozovky (viz. obr. č.12) při daném statickém zatížení kola nebo dané vzájemné poloze středu kola a odpružené části vozidla. Kolo je sbíhavé, jestliže přední část kola je přikloněna k podélné ose vozidla a rozbíhavé, je-li odkloněna.



Obr. č. 12 Zdroj: ČSN 30 0034

## 2.3.2 Kinematika, značení sil a momentů

### Síly

Vnější síly působící na vozidlo mohou být sloučeny v jediný vektor síly mající složky  $x, y, z$ .

#### Podélná síla

Složka vektoru síly ve směru osy  $x$ .

#### Boční síla

Složka vektoru síly ve směru osy  $y$ .

#### Svislá síla

Složka vektoru síly ve směru osy  $z$ .

### 2.3.3 Směrová dynamika

#### **Směrová dynamika (ovladatelnost)**

Vyšetřuje pohyby vozidla převážně ve směru jeho příčné osy  $y$ , obvykle při stálé rychlosti jízdy na rovné, rovinné vozovce, a to v závislosti:

- a) na ovládání vozidla řidičem bez působení rušivých vlivů (řiditelnost vozidla)
- b) na rušivých vlivech bez působení řidiče (směrová stabilita)

#### **Citlivost**

Poměr změny ustáleného příčného zrychlení na rovné vozovce a změny úhlu natočení volantu při daném vyváženém stavu a definovaných zkušebních podmínkách.

#### **Stabilita**

Je charakterizována časovým průběhem odezvy vozidla vychýleného z vyváženého stavu definovaným impulsem řízení nebo rušivým vlivem.

#### **Ackermanův úhel rejdu**

Úhel, jehož tangens je roven poměru rozvoru k poloměru zatáčení.

#### **Gradient Ackermanova úhlu rejdu**

Poměr změny Ackermanova úhlu rejdu ke změně ustáleného příčného zrychlení na vodorovné vozovce v daném vyváženém stavu a definovaných zkušebních podmínkách.

#### **Úhel natočení volantu**

Úhlová výchylka volantu měřená od přímé polohy ( poloha odpovídající nulovému střednímu úhlu natočení dvojice rejdových kol ).

#### **Gradient úhlu natočení volantu**

Poměr změny úhlu natočení volantu ke změně ustáleného příčného zrychlení na vodorovné vozovce v daném vyváženém stavu a definovaných zkušebních podmínkách.

#### **Gradient nedotáčivosti/přetáčivosti**

Veličina získaná odečtením gradientu Ackermanova úhlu natočení volantu děleného celkovým převodem řízení.

**Neutrální zatáčivost**

Zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení roven gradientu Ackermanova úhlu rejdu.

**Nedotáčivost**

Zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení větší než gradient Ackermanova úhlu rejdu.

**Přetáčivost**

Zatáčivost, kdy je poměr gradientu úhlu natočení volantu a celkového převodu řízení menší než gradient Ackermanova úhlu rejdu.

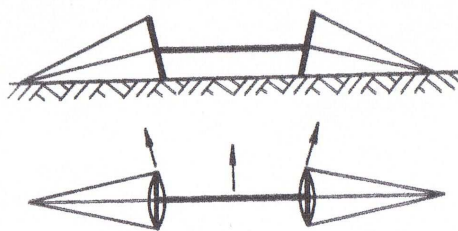
### 3 Vliv změny geometrie zavěšení na jízdní vlastnosti:

Jednotlivé pojmy týkající se geometrie zavěšení byly vysvětleny v předcházejících kapitolách. V této kapitole bude vysvětleno jaký vliv na chování vozu mají jednotlivé odchylky postavení kola vůči karoserii, které vznikají při propružení. Tento jev se nazývá změna geometrie kol a rozlišujeme u něj několik rozměrových a úhlových změn. Tyto poznatky budou dále použity při vyhodnocení chování jednotlivých typů zavěšení.

Nutno zdůraznit, že kola nemají ani v klidovém stavu ideální geometrii, zpravidla mají mírné odchylky od svislých a vodorovných os souřadné soustavy vozidla, a to z důvodu dobrého ovládání vozu. Kolo pak při propružení tuto odchylku buď zvětšuje, zmenšuje či posouvá do opačné hodnoty.

#### 3.1 Úhel odklonu kola

Všechny níže uváděné hodnoty jsou v zatíženém provozním stavu, který se liší od stavu nezatíženého, při kterém jsou hodnoty nastavovány. Je tedy nutné dopředu predikovat tuto změnu a úhel nastavit větší či menší.



Obr. č. 13 Zdroj: Vlk, 2000

#### Kladný odklon:

Při kladném odklonu tvoří kolo ve styku s vozovkou kuželovou plochu obr. č.13. Kola se odvalují od sebe a snižuje se sklon ke kmitání. Rovněž ale dochází ke kombinaci valení a smýkání kola, což zvětšuje opotřebení pneumatiky.

**Nulový odklon:**

Téměř nulový odklon (+5' až +10') je ideální pro jízdu na mírně klenuté vozovce, pneumatika se k ní odvaluje kolmo.

**Záporný odklon:**

Poslední dobou nejužívanější úhel odklonu z důvodu lepšího bočního vedení ( $-1^\circ$  až  $-2^\circ$ ).

Karoserie se při zatáčení vlivem odstředivých sil mírně klopí k vnějšímu okraji vozovky. Naklopením karoserie se kolo dostává do pozice kolmo k vozovce a umožňuje tak maximální přenos boční síly. (Vlk, 2000)

### **3.2 Příklon rejdové osy**

Příklon slouží k samočinnému vracení řízených kol do polohy pro přímou jízdu. Vlivem příklonu dochází při natáčení kol k jejich zvedání. Síla k tomu potřebná musí být vynaložena při natáčení volantu. Po uvolnění volantu tlačí zatížení přední nápravy přední kola do přímé polohy účinkem vratného momentu. (Vlk, 2000)

Vratný moment vzniká také při kladném poloměru rejdu, proto se používá velký poloměr rejdu a malý úhel příklonu rejdové osy nebo naopak.

### **3.3 Poloměr rejdu**

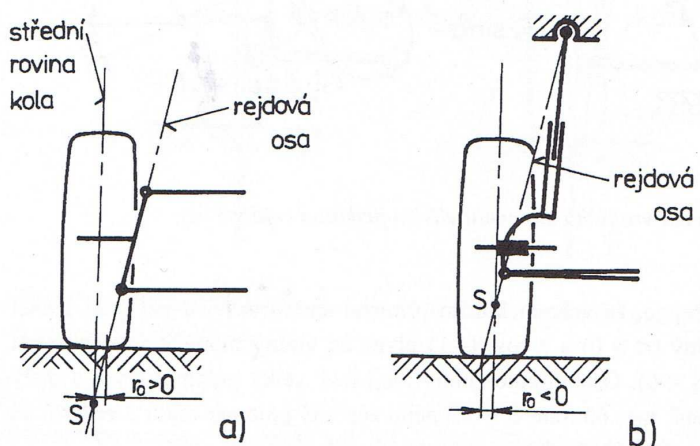
Na velikosti poloměru rejdu závisí velikost vratného momentu – větší kladné hodnoty  $r_0$  zvyšují tento moment. Čím je ale poloměr rejdu větší, tím více je přední náprava citlivější na podélné síly.

**Kladný poloměr rejdu (obr. č. 14) :**

Moment vyvolaný působením podélných sil (brzdných, akceleračních) natáčí kola kolem rejdové osy.

V případě stejných sil na obou stranách dochází ke stlačování kol k sobě a vymezení vůle v řízení a potlačování neklidu.

Při rozdílných podélných silách vznikajících v důsledku různých přilnavostí pneumatik dochází k nežádoucímu vychylování řízených kol. Řidič musí vyrovnávat směr jízdy. Z tohoto důvodu nebývá poloměr rejdu příliš velký.



Obr. č. 14 Poloměr rejdu: vlevo kladný, vpravo záporný

Zdroj: Vlk, 2000

### Nulový poloměr rejdu:

Nevzniká žádný moment od podélných sil, nedochází k vychylování ze směru při nesouměrném brzdění.

### Záporný poloměr rejdu (obr. č.14) :

Má stabilizující účinek na řízení: tzn. řidič nemusí měnit natočení předních kol, i když brzdění je nesouměrné. Momenty mají stejný smysl v případě hnáných i brzděných kol. Všechny vúle v řízení a uložení jsou vymezovány, zároveň je auto stabilní při různé přilnavosti na pravém a levém kole. (Vlk, 2000)

## 3.4 Závlek

Závlek vrací kola do přímého směru díky momentům vznikajícím od vodorovných sil. Používá se pro stabilizování polohy předních kol, dosáhne se ho posunutím rejdivé osy směrem dopředu. Bod styku kola s vozovkou se tím dostane za rejdivou osu a kolo je vlečeno. Tento princip lze pozorovat např. u nákupních vozíků, kde je kolečko vlivem závleku vlečeno. (Vlk, 2000)

### 3.5 Úhel sbíhavosti

#### **Sbíhavost:**

Vlivem malých bočních sil vznikajících při sbíhavosti jsou kola tlačena do přímého směru, to pociťujeme jako efekt vrácení se řízení do přímé polohy. Další důležitou vlastností sbíhavosti je to, že vozidlo stabilizuje v přímém směru jízdy. (Vlk, 2000) Sbíhavost u přední nápravy vede k přetáčivosti, zatímco u zadní nápravy k nedotáčivosti. Proto se u většiny dnešních vozidel používá z důvodu snadnějšího ovládání vozidla sbíhavost zadní nápravy.

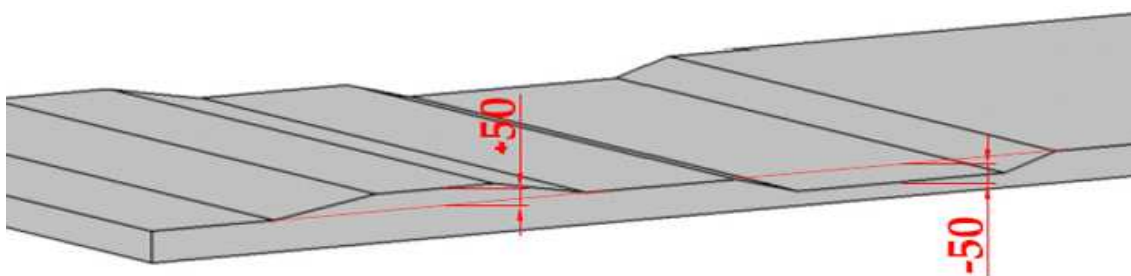
#### **Rozbíhavost:**

U rozbíhavosti funguje stejný efekt vrácení řízení jako u sbíhavosti. U vozidel s předním pohonem se snaží dopředu směřující hnací síly kola stlačit k sobě, proto zde může být výhodnější rozbíhavost. (Vlk, 2000). Rozbíhavost přední nápravy vede k nedotáčivosti, proto se užívá u většiny civilních automobilů. Zatímco větší rozbíhavost zadní nápravy má za následek přetáčivost vozidla. Tohoto jevu se užívá především v motorsportu, kde zkušeným řidičům dává možnost plné kontroly nad vozidlem v celém průběhu průjezdu zatáčkou.

## 4 Zavěšení kol

Tato kapitola je zaměřena na porovnání kinematiky jednotlivých druhů náprav. K tomuto účelu jsem vytvořil model virtuálního testovacího polygonu (obr. č.15), který představuje jízdu po nerovné vozovce. Polygon obsahuje dva druhy nerovností - vyvýšení 50 mm nad úroveň a prohlubeň 50 mm pod úroveň vozovky. Toto schéma je stejné pro všechny typy testovaných náprav z důvodu objektivního srovnání. Pozorovány jsou především parametry sbíhavosti, odklonu kola, rozvoru a rozchodu.

Modely jednotlivých zavěšení odpovídají skutečnosti. Jako etalon byly využity nápravy vozů: BMW E30, Mazda RX8, Peugeot 309, Škoda 120 a Volvo 440, které demonstrují chování daného typu nápravy. Cílem těchto modelů není srovnání konkrétních náprav vybraných vozů, ale přehledné zpracování chování jednotlivých typů s konkrétními parametry (viz. příloha 1). Tyto závěry nelze zobecňovat. Pro jejich zobecnění by bylo nutné provést analýzu citlivosti parametrů nápravy, což přesahuje rozsah této práce.



Obr. č. 15 Testovací polygon

Zdroj: vlastní zpracování

Chování jednotlivých typů zavěšení je zachyceno na níže uvedených schématech, která zobrazují konkrétní situace v daném sledu.

- Řádky zobrazují postupně nezatíženou nápravu, dolní a horní propružení.
- Sloupce zobrazují bokorys, nárys, půdorys a 3D pohled.

Změny geometrie jsou okótovány a popsány. Velikost změn lze porovnávat pouhým pohledem, jelikož je polygon vždy stejný. Při simulaci nejsou zahrnuty vlivy hmotnosti, setrvačnosti, odpružení a tlumení - jde pouze o zobrazení kinematiky.

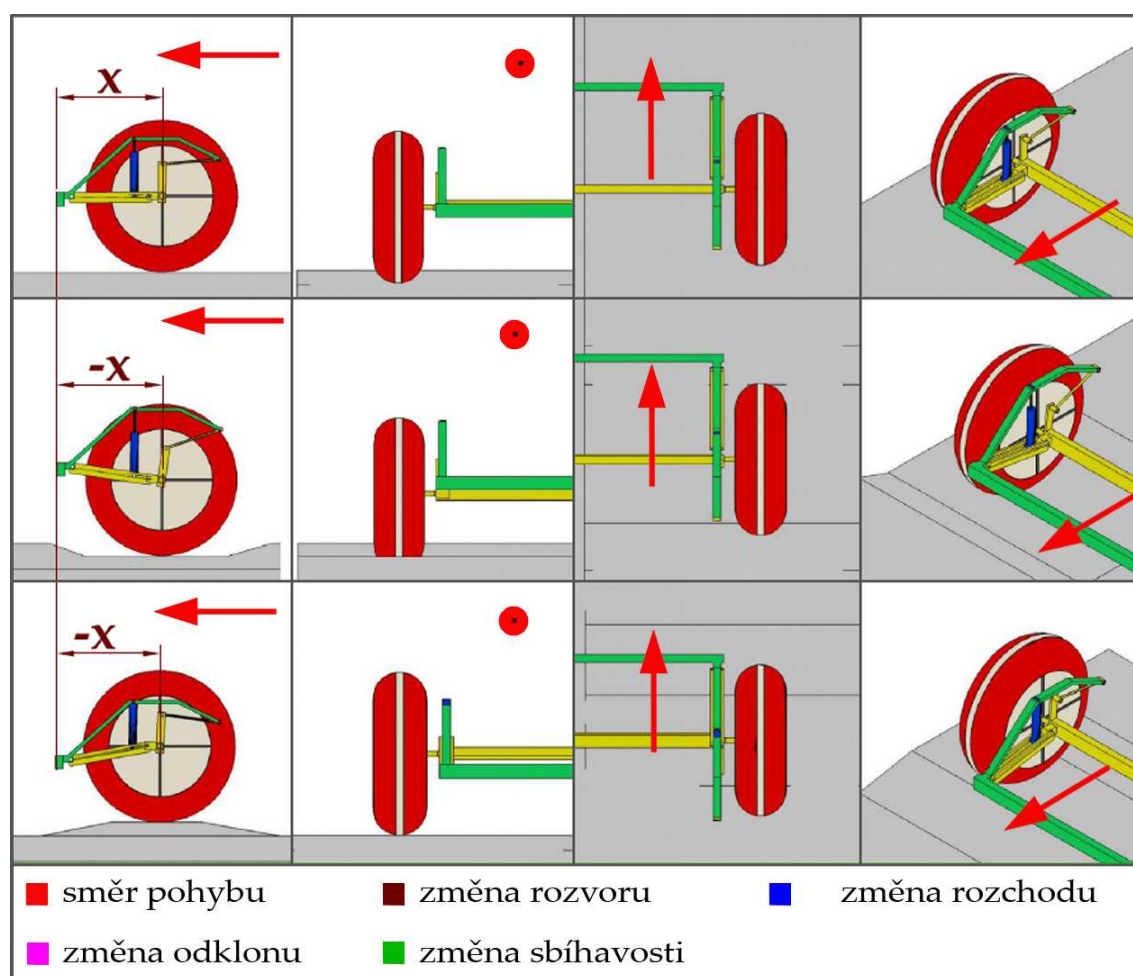


## 4.1 Závislé zavěšení (tuhá náprava)

Závislé zavěšení kol, tzv. tuhá náprava, je nejstarším způsobem zavěšení kol. Hlavní částí tuhé nápravy je most nápravy nebo nápravnice, na jejichž koncích jsou uložena kola. Ta jsou pevně spojena, jejich poloha se nemění. Tuhé nápravy jsou konstrukčně jednodušší a levnější. Mají však velký podíl neodpružených hmot a tím zhoršují bezpečnost jízdy. (Motejl, 2004)

Zavěšení se používá pro:

- Přední a zadní nápravy
- Hnané a nepoháněné nápravy
- Řízené i neřízené nápravy



Obr. č. 16 Tuhá náprava během propnutí

Zdroj: vlastní zpracování

### Zhodnocení chování

Obr. č. 16 znázorňuje chování zádní tuhé nápravy během propnutí (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně rozvoru kol.

**Dolní propnutí** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či brzdění (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti.

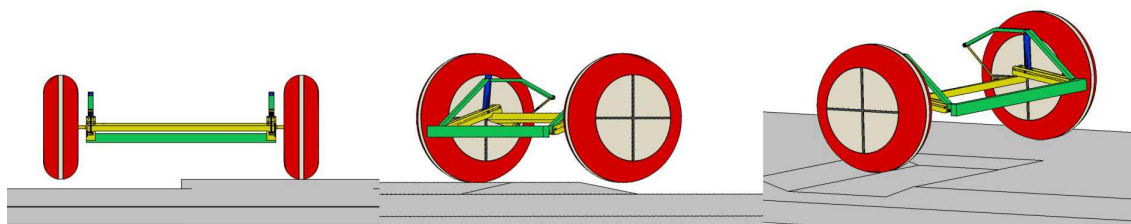
**Horní propnutí** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či akcelerace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

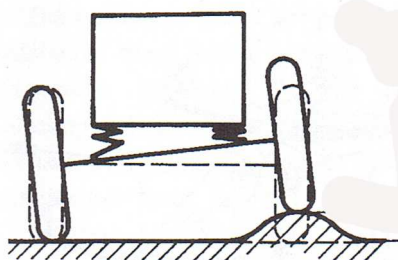
- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti.

Velkou výhodou této tuhé nápravy je, že nedochází ke změně rozchodu a odklonu kol.

Nevýhodou je velká neodpružená hmotnost a chování nápravy při nerovnoměrném propnutí. Díky pevnému spojení kol dochází k tomu, že jedno z kol během jednostranného propnutí ztrácí kontakt s vozovkou (viz. obr. č. 17) nebo dochází ke změně odklonu obou kol (viz. obr. č. 18). To má nepříznivý vliv na jízdní vlastnosti, a proto se dnes tuhá náprava příliš nepoužívá. Své místo si přesto stále nachází u užitkových vozů, kde v kombinaci s listovými pružinami umožňuje větší zatížení na nápravu.



Obr. č. 17 Ztráta kontaktu s vozovkou během jednostranného propnutí  
Zdroj:vlastní zpracování.

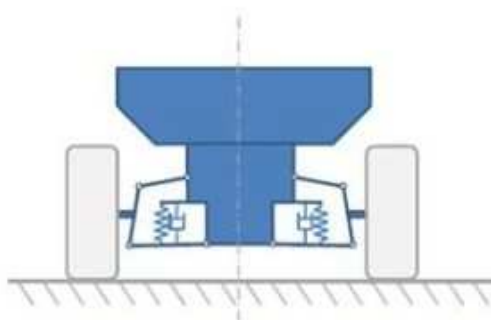


Obr. č. 18 Změna odklonu obou kol během propružení

Zdroj: Vlk, 2000

## 4.2 Nezávislé zavěšení

U nápravy s nezávislým zavěšením (obr. č. 19) nejsou spolu svázány pohyby pravých a levých kol. Modely náprav tak mohou být při propružení zobrazeny jen z poloviny. Každá strana zavěšení kopíruje povrch nezávisle na sobě. Další výhodou je nižší hmotnost neodpružených částí.



Obr. č. 19 Zdroj: Autolexicon.net

### 4.2.1 Lichoběžníková náprava

Lichoběžníkové zavěšení se skládá ze dvou trojúhelníkových ramen různé délky. Horní rameno bývá zpravidla kratší z důvodu menšího zástavbového prostoru. Dolní bývá naopak delší z důvodu lepších vlastností tohoto zavěšení. Vhodná volba vzájemného poměru délek obou ramen přináší velmi příznivou kinematiku zavěšení.

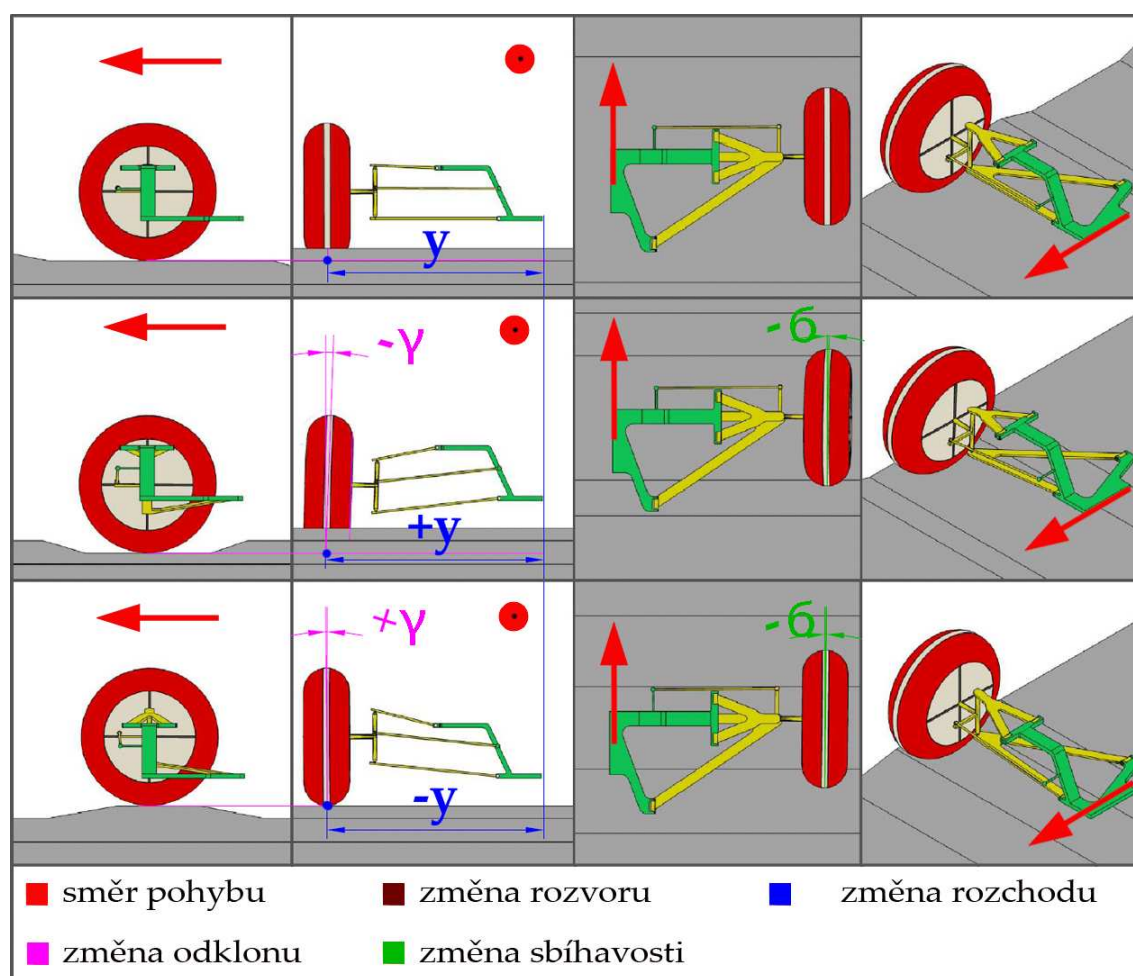
Zavěšení se používá pro:

- Přední i zadní nápravy

- Hnané a nepoháněné nápravy
- Řízené i neřízené nápravy

### Zhodnocení chování

Obr. č. 20 znázorňuje chování přední lichoběžníkové nápravy během propružení (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti a rozchodu kol.



Obr. č. 20 Lichoběžníková náprava během propružení Zdroj: vlastní zpracování

**Dolní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či akcelerace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zmenšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnitřní

straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem k střední rovině.

- Rozchodu kol  $y$  (zvětšuje se), změna vzdálenosti od rozvodovky (u hnané nápravy).
- Sbíhavosti  $\delta$  (zmenšuje se), mění se velikost vratného momentu volantu, zvětšuje se sklon vozidla k nedotáčivosti. Při propružení jedné strany má kolo snahu stáčet vozidlo směrem od střední roviny.

Rozdílné směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se od sebe odčítají, výsledkem tak může být jejich úplná eliminace.

**Horní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či brzdění (vlivem klonění).

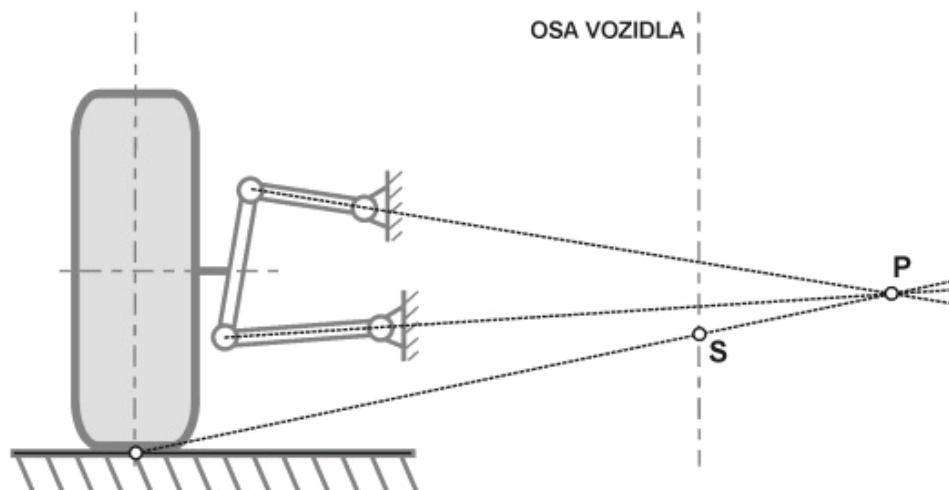
Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zvětšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnější straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem od střední roviny.
- Rozchodu kol  $y$  (zmenšuje se), změna vzdálenosti od rozvodovky (u hnané nápravy).
- Sbíhavost  $\delta$  (zmenšuje se), shodné chování s dolním propružením.

Stejně směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se sčítají přičtou.

Lichoběžníková náprava má při akceleraci i brzdění sklon k nedotáčivosti, vozidlo je stabilnější při brzdění. Nedotáčivé chování lze změnit přesunutím tyče řízení na opačnou stranu (směrem k zádi vozu od středu kola). Po této úpravě bude mít vozidlo tendenci k přetáčivosti.

Velikost změny rozchodu a odklonu kola můžeme zmenšit posunutím okamžitého středu klopení P (obr. č. 21) co nejdál od kola.



Obr. č. 21 Střed klopení kola P a střed klopení karoserie S

Zdroj: autolexicon.net

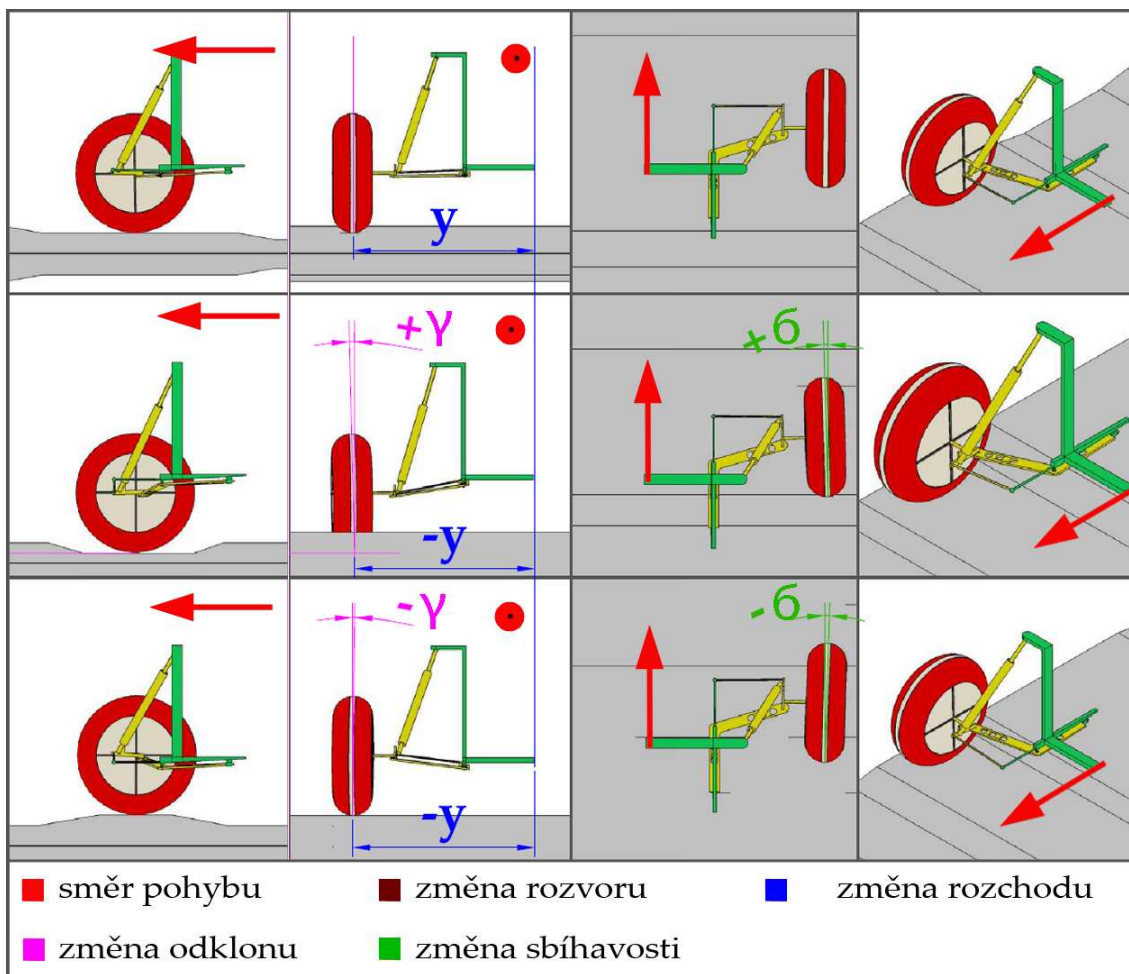
V případě užití zavěšení na zadní nápravě nedochází ke změně sbíhavosti. Odlehčování a zatěžování nápravy vlivem klopení probíhá naopak. Při brzdění je zadní náprava odlehčena, dojde k dolnímu propružení. Zatímco při akceleraci dojde k zatížení zadní nápravy (horní propružení).

#### 4.2.2 Náprava McPherson

Náprava McPherson je odvozena z lichoběžníkové nápravy, u které je horní rameno nahrazeno posuvným vedením. Touto změnou se např. získá přídavný vnitřní prostor pro motor nebo zavazadlový prostor. (Autolexicon.net) V případě použití nápravy jako řídící je nutno otočně uložit pístnici tlumiče v misce s kluzným ložiskem. Spojením tohoto bodu a místa uložení v dolním rameni získáváme rejdovou osu.

Zavěšení se používá pro:

- Přední i zadní nápravy
- Hnané a nepoháněné nápravy
- Řízené i neřízené nápravy



Obr. č. 22 Náprava McPherson během propružení

Zdroj: vlastní zpracování

### Zhodnocení chování

Obr. č. 22 znázorňuje chování přední nápravy McPherson během propružení (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti a rozchodu kol.

**Dolní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či akcelerace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zvětšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnější straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem od střední roviny.

- Rozchodu kol  $y$  (zmenšuje se), změna vzdálenosti od rozvodovky (u hnané nápravy).
- Sbíhavosti  $\delta$  (zvětšuje se), mění se velikost vratného momentu volantu, zvětšuje se sklon vozidla k přetáčivosti. Při propružení jedné strany má kolo snahu stáčet vozidlo směrem k střední rovině.

Rozdílné směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se od sebe odčítají, výsledkem tak může být jejich úplná eliminace.

**Horní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či brzdění (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zmenšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnitřní straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem k střední rovině.
- Rozchodu kol  $y$  (zmenšuje se), změna vzdálenosti od rozvodovky (u hnané nápravy).
- Sbíhavosti  $\delta$  (zmenšuje se), mění se velikost vratného momentu volantu, zvětšuje se sklon vozidla k nedotáčivosti. Při propružení jedné strany má kolo snahu stáčet vozidlo směrem od střední roviny.

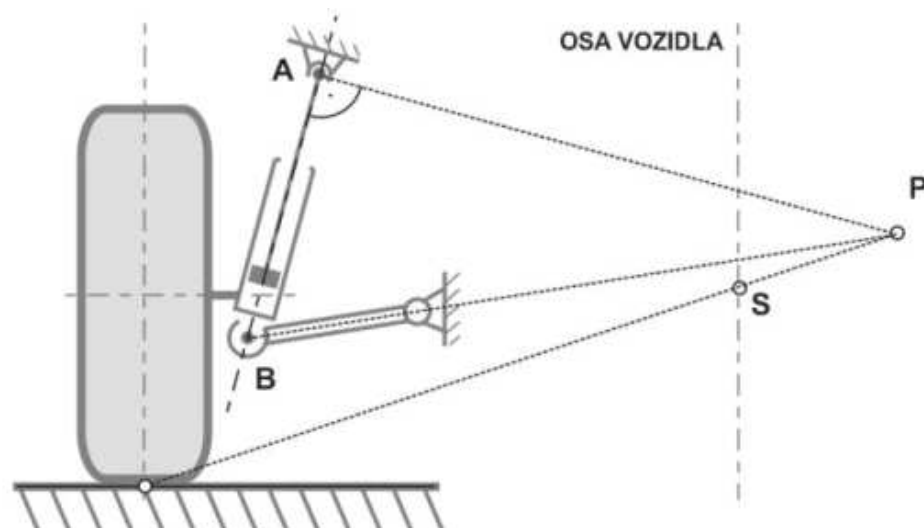
Rozdílné směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se od sebe odečítají, výsledkem tak může být jejich úplná eliminace.

Náprava McPherson má při akceleraci (odlehčení) tendenci k přetáčivosti, zatímco při brzdění sklon k nedotáčivosti. Vozidlo se tak stává stabilnější při brzdění.

Velikost změny rozchodu a odklonu je možno měnit, geometrií a velikostí jednotlivých částí zavěšení, které určují okamžitý střed klopení  $P$  (obr. č 23).

Při použití zavěšení na zadní nápravě nedochází ke změně sbíhavosti (mění se jen odklon a rozchod kol). Odlehčování a zatěžování nápravy vlivem klopení probíhá naopak. Při brzdění je zadní náprava odlehčena, dojde k dolnímu propružení. Zatímco při akceleraci dojde k zatížení zadní nápravy (horní propružení).





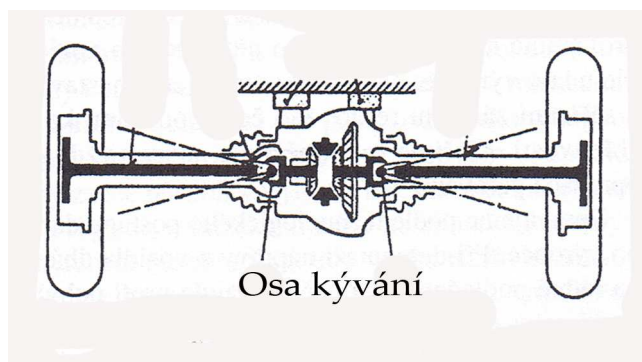
Obr. č. 23 Střed klopení kola P a střed klopení karoserie S

Zdroj: Autolexicon.net

### 4.2.3 Kyvadlová náprava

Kyvadlová náprava je jednoduchý typ nápravy, kde je každé kolo zavěšeno na jednom příčném rameni nebo šikmém závěsu. U kyvadlových náprav rozlišujeme několik konstrukčních řešení. Patří mezi ně náprava s nezkrácenou, zkrácenou a sníženou osou kývání a kyvadlová úhlová náprava (která je řešena samostatně).

Testovaná náprava má zkrácenou osu kývání (obr. č. 24), která je rovnoběžná s osou souměrnosti vozidla, ale leží mimo ni. (Motejl, 2004)



Obr. č. 24 Zkrácená osa kývání

Zdroj: Motejl, 2004

Zavěšení se používá pro:

- Zadní nápravy
- Hnané nápravy
- Neřízené nápravy

### **Zhodnocení chování**

Obr. č. 25 znázorňuje chování zadní kyvadlové nápravy se zkrácenou osou kývání během propružení (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti a rozchodu kol.

**Dolní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či brzdění (vlivem klonění).

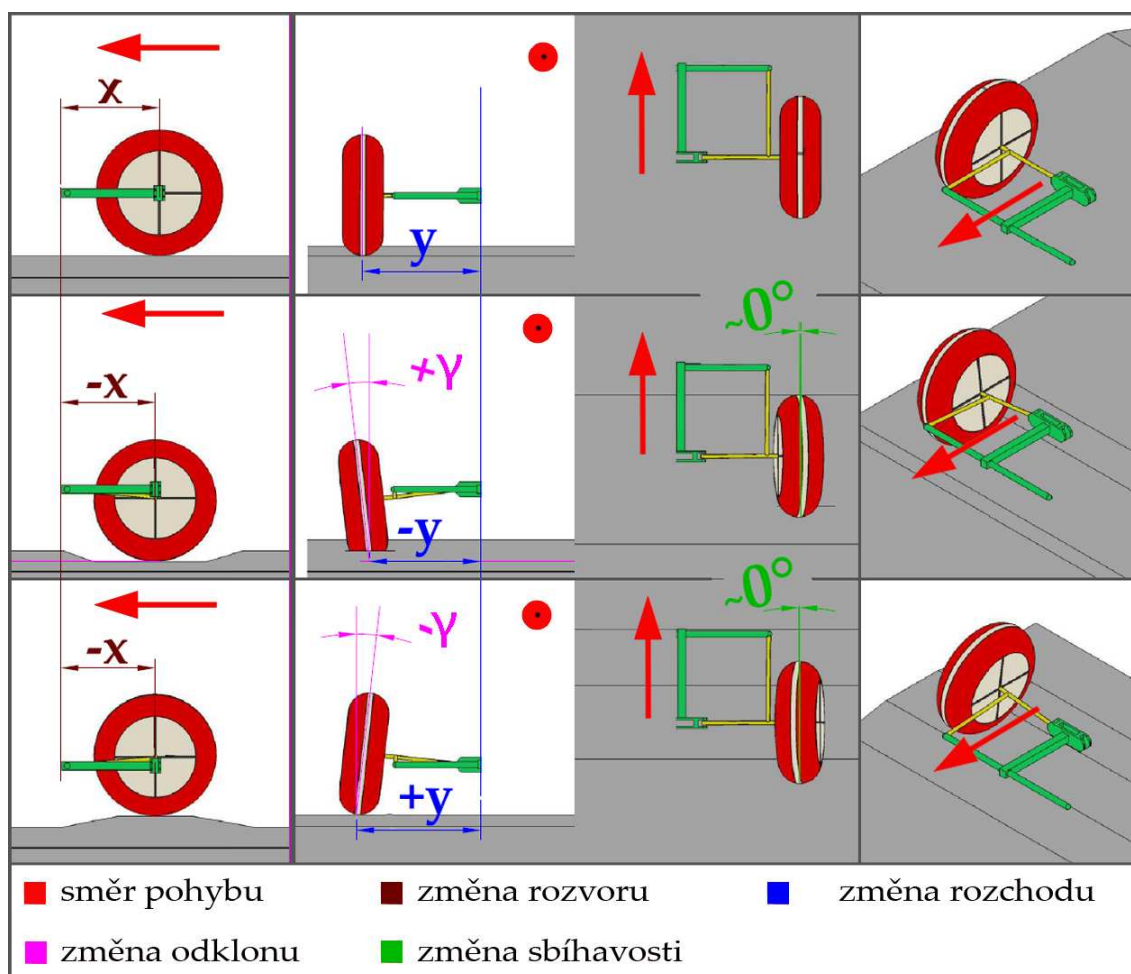
Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zvětšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnější straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem od střední roviny.
- Rozchodu kol  $y$  (zmenšuje se), rozchod se mění, ale vzdálenost středu kola zůstává stejná, hnací hřídel je vedena ramenem, není potřeba délkové změny.
- Sbíhavosti  $\delta$ , změna sbíhavosti je zanedbatelná.
- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti.

**Horní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či akcelerace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zmenšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnitřní straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem k střední rovině.
- Rozchodu kol  $y$  (zvětšuje se), rozchod se mění, ale vzdálenost středu kola zůstává stejná, hnací hřídel je vedena ramenem, není potřeba délkové změny.
- Sbíhavosti  $\delta$ , změna sbíhavosti je zanedbatelná.
- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti.



Obr. č. 25 Kyvadlová náprava během propružení

Zdroj: vlastní zpracování

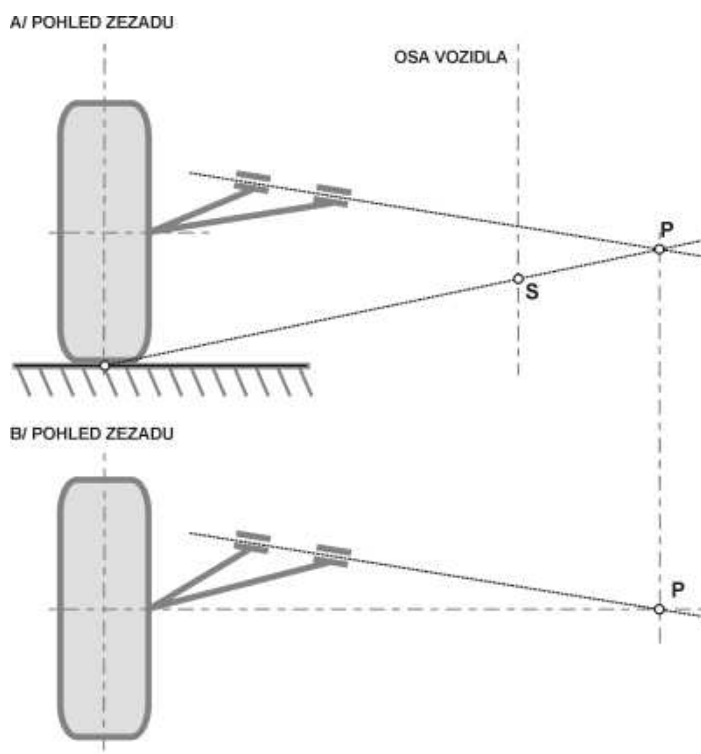
U kyvadlového zavěšení se téměř nemění hodnota sbíhavosti, tím nedochází k výraznému ovlivnění přetáčivosti a nedotáčivosti při akceleraci a brzdění. I přes změnu rozchodu zůstává vzdálenost středu kola od rozvodovky nezměněná. Není třeba řešit proměnou délku poloosy.

Největší nevýhodou tohoto zavěšení je velká změna odklonu, která nepříznivě ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla. Velikost této změny je podstatně větší než u předešlých typů zavěšení, což je patrné např. z porovnání obrázků. č. 22 a č. 25.

Oproti tuhé nápravě má výhodu v nižší neodpružené hmotnosti a eliminaci nepříznivých vlivů při rozdílném propružení.

#### 4.2.4 Kyvadlová úhlová náprava

Kyvadlová úhlová náprava je zvláštním případem kyvadlové nápravy, která je modifikována tak, že osa kývání je šikmá jak v půdorysu tak v mnoha případech i v nárysu. Kinematické řešení této nápravy posouvá pól klopení za osu symetrie (viz obr. č. 26), což způsobuje menší změnu úhlu klopení  $\gamma$  při propružení. (Vlk, 2000)



Obr. č. 26 Střed klopení kola P a střed klopení karoserie S

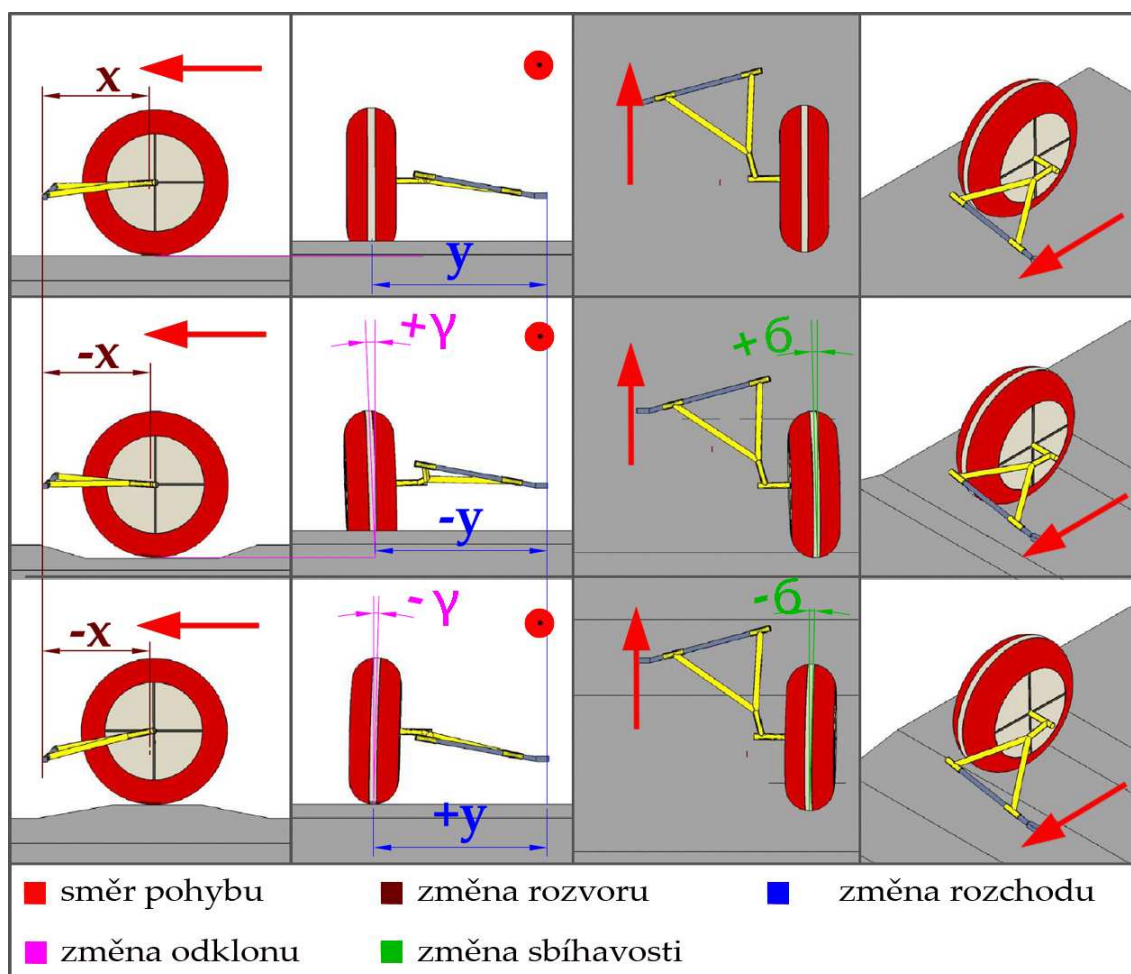
Zdroj: Autolexicon.net

Zavěšení se používá pro:

- Zadní nápravy
- Hnané nápravy
- Neřízené nápravy

#### Zhodnocení chování

Obr. č. 27 znázorňuje chování zadní kyvadlové úhlové nápravy během propružení (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti, rozchodu a rozvoru kol.



Obr. č. 27 Kyvadlová úhlová náprava během propružení

Zdroj:vlastní zpracování

**Dolní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či brzdění (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zvětšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnější straně pneumatiky. Pokud je propružení jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem od střední roviny.
- Rozchodu kol  $y$  (zmenšuje se), změna vzdálenosti od diferenciálu, nutno řešit proměnlivou délku poloos.
- Sbíhavosti  $\delta$  (zvětšuje se), zvětšuje se sklon vozidla k nedotáčivosti. Při propružení jedné strany má kolo snahu stáčet vozidlo směrem k střední rovině.
- Rozvor  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti

Rozdílné směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se od sebe odečítají, výsledkem tak může být jejich úplná eliminace.

**Horní propnutí** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či akcelerace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Odklonu kola  $\gamma$  (zmenšuje se), tím se zmenšuje styčná plocha pneumatiky, snižuje se adheze, dochází k většímu opotřebení na vnitřní straně pneumatiky. Pokud je propnutí jednostranné, kolo má snahu vozidlo stáčet směrem k střední rovině.
- Rozchodu kol  $y$  (zvětšuje se), změna vzdálenosti od diferenciálu, nutno řešit proměnlivou délku poloos.
- Sbíhavosti  $\delta$  (zmenšuje se), zvětšuje se sklon vozidla k přetáčivosti. Při propnutí jedné strany má kolo snahu stáčet vozidlo směrem od střední roviny.
- Rozvor  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti

Rozdílné směry stáčení při změně odklonu a sbíhavosti se od sebe odečítají, výsledkem tak může být jejich úplná eliminace.

Tento typ nápravy má při akceleraci (odlehčení) tendenci k přetáčivosti, a ta v kombinaci se zadní hnanou nápravou zvyšuje požadavky na řidiče či elektroniku vozu. Při brzdění má vůz sklon k nedotáčivosti, je stabilnější.

Změnou osy kývání bylo dosaženo podstatného zmenšení změny odklonu kola. To má za následek podstatně lepší chování zavěšení. Na rozdíl od standardní kyvadlové nápravy je však nutné řešit proměnlivou délku poloos.

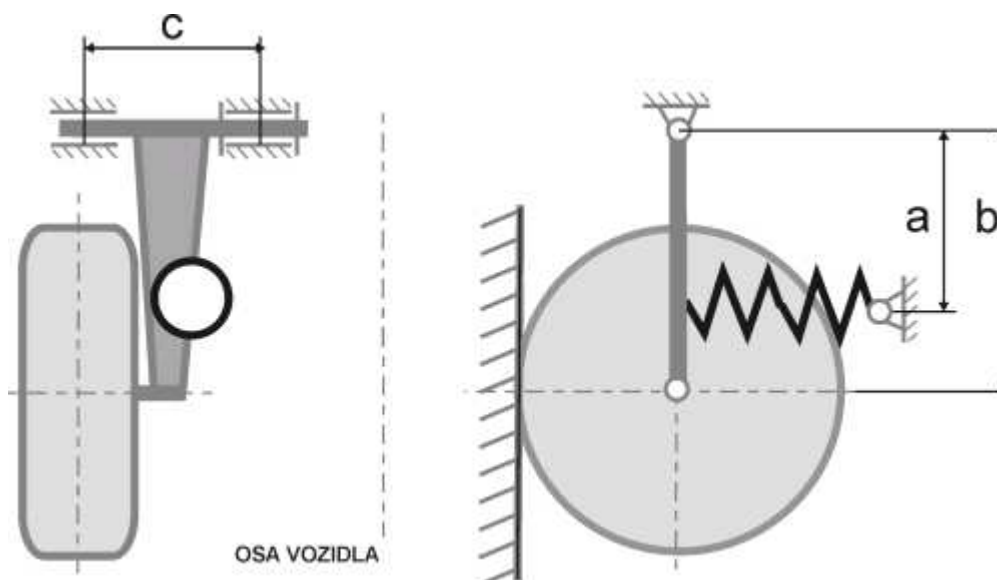
#### 4.2.5 Kliková náprava

Kliková náprava se skládá ze dvou ramen, která jsou obvykle spojena příčným profilem. Příčného spojení lze využít k umístění torzní tyče, která slouží k odpružení nápravy.

Další možností je spojení ramen pomocí U profilu, v tomto případě jde o spráženou klikovou nápravu. U profil je tuhý na ohyb, nedeformuje se při

stejnoběžném propružení. Při jednostranném propružení je profil zkrucován a nahrazuje tak příčný stabilizátor.

Střed klopení této nápravy leží podle obr. č. 28 v nekonečnu a proto leží střed klopení karoserie S v rovině vozovky. (Vlk,2000)



Obr. č. 28 Střed klopení kola P a střed klopení karoserie S

Zdroj: Autolexicon.net

Zavěšení se používá pro:

- Zadní nápravy
- Nepoháněné nápravy
- Neřízené nápravy

### Zhodnocení chování

Obr. č. 29 znázorňuje chování zadní klikové nápravy během propružení (dolního, horního). U zavěšení dochází ke změně rozvoru kol.

**Dolní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „děr“ či brzdění (vlivem klonění).

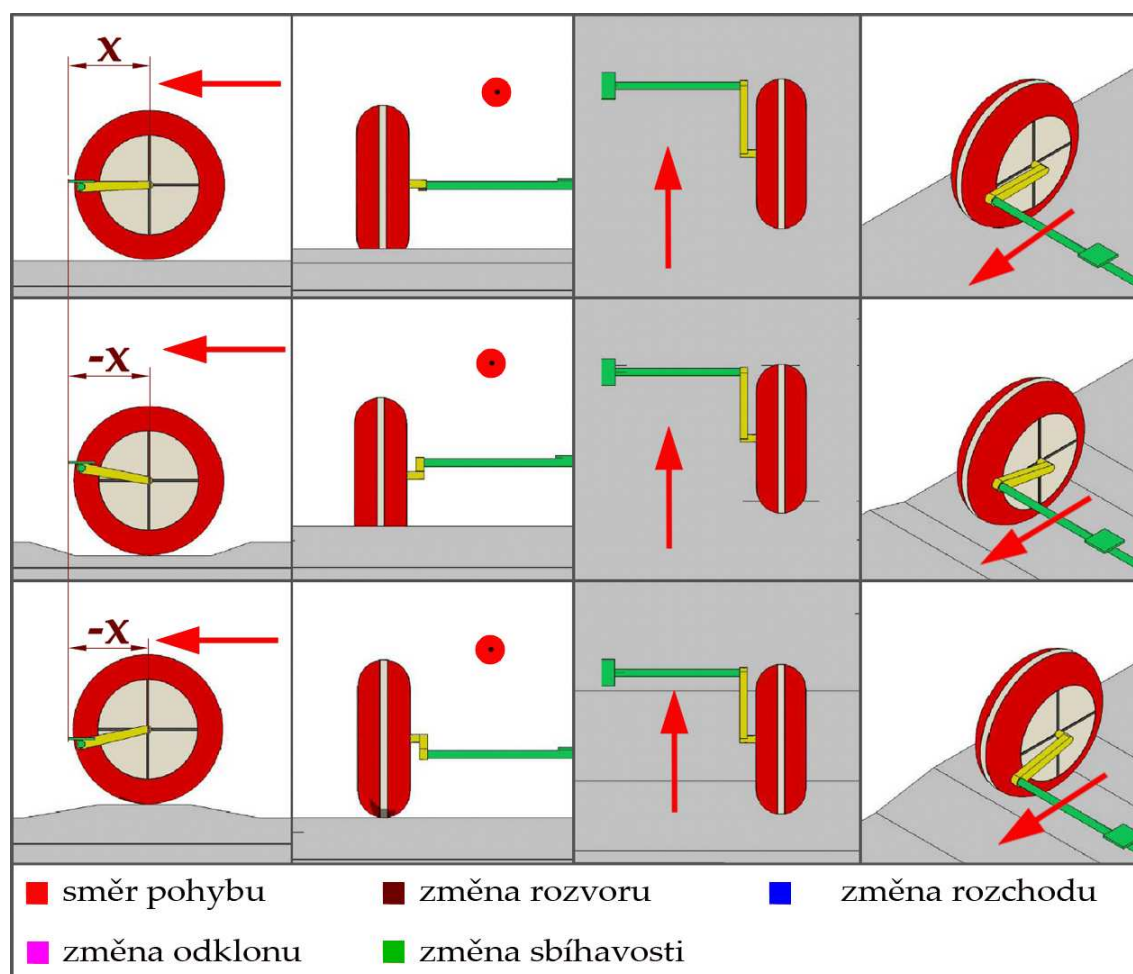
Projevuje se změnou:

- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti

**Horní propružení** vzniká v důsledku přejíždění „hrbů“ či akceleraace (vlivem klonění).

Projevuje se změnou:

- Rozvoru kol  $x$ , změna má nepatrný vliv na jízdní vlastnosti



Obr. č. 29 Kliková náprava během propružení Zdroj: vlastní zpracování

Kliková nápravy vykazuje velice dobré chování při propružení, kdy dochází pouze ke změně velikosti rozvoru kol. Nevýhodou je, že při naklápění karoserie dochází k změně odklonu kola. Kolo svírá stále stejný úhel se střední rovinou vozu, která mění svůj úhel vůči vozovce. Dochází tak ke zmenšení stykové plochy pneumatiky, což nepříjemně ovlivňuje jízdní vlastnosti při projíždění zatáčkou.

Hlavní výhodou této nápravy je její prostorová nenáročnost a konstrukční jednoduchost. Díly nápravy nezužují podlahu zadní části vozu, proto může být podlaha kufru velmi nízko. (Autolexicon.net)



## 5 Požadavky na zavěšení civilních a závodních vozů

Nápravy osobních i závodních automobilů vychází ze základních typů zavěšení. Liší se použitými komponenty, které mají různý tvar, rozměry, hmotnost a úchyty. Ty dávají každému vozu specifické jízdní vlastnosti. Výjimkou mohou být koncernové vozy, které používají u různých vozů podobné či stejné komponenty.

Rozdílnost komponent vychází z různých požadavků na jednotlivé vozy. Ty bývají často protichůdné a výsledné řešení je tak kompromisem mezi nimi.

Zásadní rozdíly v požadavcích na zavěšení jsou mezi civilními závodními automobily. Proto budou tyto skupiny budou rozebrány jednotlivě, tak abychom získali představu o nárocích na jejich konstrukci.

### U zavěšení civilních vozů se největší důraz klade na:

- Bezpečnost – závisí na velikosti změn geometrie během propružení a klopení, důležitý je především co nejlepší styk pneumatiky s vozovkou. Bezpečnosti také napomáhá elektronika např. ESP, ABS a jiné. Protichůdná hlediska která je nutno brát v potaz jsou komfort, cena, zástavbový prostor.
- Komfort – komfortní odpružení má kmitočet 65 –110 kmitů za minutu, tato hodnota přibližně odpovídá kmitočtu lidské chůze (Motejl, 2004). Hledisko komfortu je protichůdné k hledisku bezpečnosti (měkké odpružení nabízí dobrý komfort ale horší jízdní vlastnosti).
- Cena – je ovlivňována především použitými materiály, technologií výroby, složitostí konstrukce, počtem prvků zavěšení a snadností montáže. Protichůdným hlediskem ceny je bezpečnost. Výrobci do méně výkonných levných aut montují jednodušší řešení náprav, zatímco do automobilů vyšších tříd jsou používány složitější a nákladnější typy.
- Technologičnost – je důležitá z hlediska snadné vyrobitelnosti, jednoduché montáže, nízké poruchovosti. Pomáhá snížení nákladů na výrobu.

- Životnost – parametr, jež je důležitý z hlediska bezpečnosti a bezporuchovosti. Úkol je co největší oddálení vzniku vůlí v uložení a zamezení mechanickému poškození důležitých komponent. K tomuto účelu se používají kovopryžová pouzdra, které částečně tlumí rázy. Protichůdný parametr je bezpečnost, kde z přibývajících hmotou prvků roste životnost ale také neodpružená hmotnost.
- Zástavbový prostor – malý zástavbový prostor pro nápravu dává velký prostor pro motor a kufr. Protichůdným parametrem je bezpečnost kde zkrácené pohybové mechanismy způsobují větší geometrické odchylky.

#### **U zavěšení závodních vozů se největší důraz klade na:**

- Jízdní vlastnosti – jde o nejdůležitější parametr zavěšení závodního automobilu. Cílem je co největší možná přilnavost, ovladatelnost a stabilita vozu. K dosažení těchto vlastností je potřeba řešit:
  - Předpisy – stanovují rozsah možných úprav, je nutné je striktně dodržovat.
  - Přesnost vedení – cílem je zajistit co nejmenší samořízení vlivem poddajnosti. Toho se dosahuje např. výměnou kovopryžových pouzder za unibaly nebo jejich úplné odstranění. Tím se zvyšuje hlučnost a snižuje se životnost komponent zavěšení, která v motorsportu není zásadní.
  - Hmotnost – zajištění nízké neodpružené hmotnosti podstatně přispívá k dobrým jízdním vlastnostem. Snížení hmotnosti a zachování nebo zvýšení pevnosti se řeší volbou kvalitnějších materiálů.
  - Nastavitelnost – důležitá vlastnost každého závodního zavěšení, úkolem je co nejlépe přizpůsobit zavěšení podmínkám trati.
- Pevnost – části zavěšení jsou vystavovány většímu zatížení díky větším odstředivým silám a dynamickým silám. Zavěšení proto musí být dimenzováno na větší zátěž.
- Rychlá vyměnitelnost – v extrémních závodních podmínkách dochází k neočekávaným závadám, poruchám a poškození. Proto je nutné klást důraz na jednoduchou a rychlou vyměnitelnost vybraných komponent.

## 6 Závěr

V této bakalářské práci na téma „Nápravy osobních a závodních automobilů“ jsem se zabýval vytvořením uceleného přehledu o změnách geometrie, které se odehrávají při propružení. Cílem je čtenáři poskytnout výčet změn geometrie u daného typu nápravy a sledovat vliv těchto úchylek na chování vozu u náprav s konkrétními parametry. Rozdíly mezi závodními a civilními nápravami vychází z nároků, které jsou na ně kladeny. Dle mého názoru se podařilo cíle této práce splnit.

## 7 Použité informační zdroje:

*Autolexicon – Váš automobilový sloník* [online].[cit. 2010-05-05]. Dostupný z www: <<http://cs.autolexicon.net>>.

JAN, Z. a kol. *Automobily 1, Podvozky*. 2 vyd. Brno: Avid, 2009. 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7

MOTEJL, V. *Učebnice pro opraváře automobilů*. 3.vyd. Brno: Littera, 2004. 610 s. ISBN 80-85763-24-9.

REIMPEL, J. a kol. *The Automotive Chassis*. 2. vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann 2001. 116 s. ISBN 0 7506 5054 0

VLK, F. *Podvozky motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000.392 s. ISBN 80-238-5274-4.

## Seznam příloh:

Příloha č.I      Parametry náprav